



Utfodringsstrategier för minskade metanutsläpp från enterisk fermentering hos mjölkkor

*Dietary strategies for mitigation of methane emissions from enteric
fermentation in dairy cows*

Lisa Stensson

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap
Agronomprogrammet - husdjur
Uppsala 2021



Utfodringsstrategier för minskade metanutsläpp från enterisk fermentering hos mjölkkor

Dietary strategies for mitigation of methane emissions from enteric fermentation in dairy cows

Lisa Stensson

Handledare: Petra Fant, SLU, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap
Examinator: Sophie Krizsan, SLU, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Husdjursvetenskap. G2E
Kurskod: EX0865
Program/utbildning: Agronomprogrammet - husdjur
Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2021
Serienamn, delnr: Examensarbete / Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, 2021:2
Omslagsbild: Emelie Ahlberg

Nyckelord: Ruminant, greenhouse gas, feed, forage, sustainability

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Metan är en potent växthusgas som delvis produceras under fermentering i våmmen på idisslare. Utsläppen av metan från enterisk fermentering står idag för en betydande andel av utsläppen från hela jordbrukssektorn. Genom utfodringsstrategier kan alternativa fermenteringsvägar i våmmen stimuleras och därigenom kan metanproduktionen minska. Denna studie siktar på att sammanställa och jämföra potentiella utfodringsstrategier för mjölkkor, deras effekt på metanutsläppen, mjölkproduktionen och kornas hälsa samt om strategierna är tillämpbara i svensk mjölkproduktion. De utfodringsstrategier som denna studie har utvärderat är förbättrad grovfoderkvalitet, grovfoder av baljväxter, ökad andel kraftfoder, utfodring med makroalger, ökad andel fett samt fodertillsatserna probiotika, jäst, nitrat, tanniner, saponiner och essentiella oljor. Förbättrad grovfoderkvalitet och ökad andel fett i foderstaten är relativt enkla strategier som kan ha effekt på metanproduktionen. Även ökad kraftfodergiva har metanhämmande effekt, det kan dock innebära försämrad hälsa för korna samt leda till ökade utsläpp i andra delar av kedjan. Rödalgen *Asparagopsis taxiformis* visar på stor potential för sänkt metanproduktion men det krävs mer forskning för att utesluta negativa bieffekter. Fodertillsatser i form av probiotika, jäst, växtextrakt och essentiella oljor visar potential *in vitro* men tillgängliga *in vivo* studier har fått inkonsekventa resultat.

Nyckelord: Idisslare, växthusgas, foder, hållbarhet

Abstract

Methane is a greenhouse gas with a high global warming potential, and it is partly produced during fermentation in the rumen. Through dietary strategies alternative fermentation pathways can be stimulated, reducing methane production in the rumen. This study aims at reviewing potential dietary strategies for dairy cows and their effects on methane emissions, milk production and animal health, including whether the strategies are practicable in Swedish dairy production. The strategies reviewed in this study are improved forage quality, legume forage, increased concentrate ratio, macro algae, increased proportion of dietary fat and the feed additives probiotics, yeast, nitrate, tannins, saponins and essential oils. Improved forage quality and increased proportion of dietary fat are relatively easy applied strategies which can impact on methane production. An increased concentrate ratio can reduce the methane production, but also have a negative effect on animal health and could possibly lead to increased emissions of greenhouse gases in other parts of the production chain. The red algae *Asparagopsis taxiformis* has shown great potential for reduced methane production, but more research is needed to eliminate any negative side-effects. Probiotics, yeast, plant extracts and essential oils have also shown potential *in vitro* but the observed *in vivo* studies have given inconsistent conclusions.

Keywords: Ruminant, greenhouse gas, feed, forage, sustainability

Innehållsförteckning

Figurförteckning.....	9
1. Introduktion.....	11
2. Metanproduktion i våmmen.....	13
3. Utfodringsstrategier	14
3.1. Grovfoderkvalitet	14
3.2. Baljväxtvall.....	14
3.3. Kraftfoder	15
3.4. Makroalger.....	15
3.5. Fett.....	16
3.6. Probiotika och jäst	17
3.7. Nitrat	17
3.8. Växtextrakt.....	18
4. Diskussion.....	19
4.1. Slutsats	22
Referenser.....	23
Tack	28

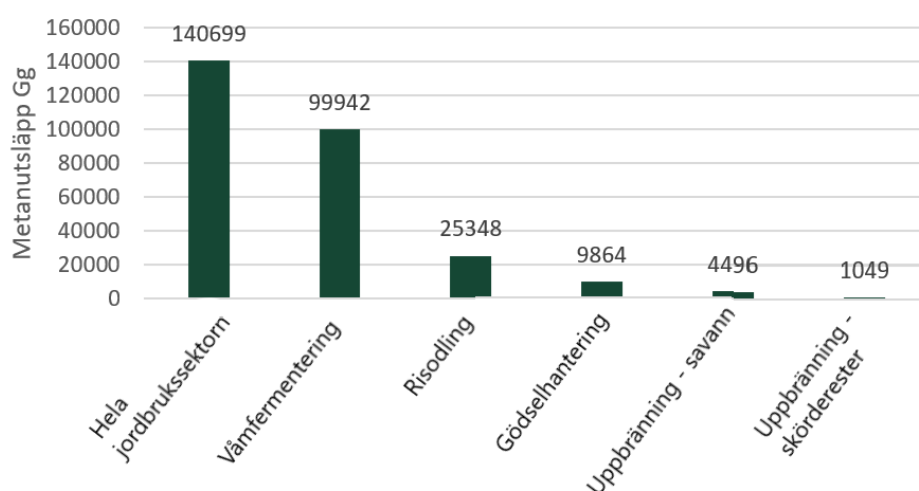
Figurförteckning

- Figur 1. Globala utsläpp av metan från enterisk fermentering hos idisslare samt från övriga delar av jordbrukssektorn i jämförelse med de totala utsläppen från jordbrukssektorn år 2018. Källa: FAOSTAT 2018.11
- Figur 2. Utsläpp av metan från enterisk fermentering hos mjölkkor år 2018. Jämförelse mellan de 10 länder med högst utsläpp globalt och Sveriges utsläpp (71 av 210 globalt). Källa: FAOSTAT 201812
- Figur 3. Schematisk bild av metanproduktionen i våmmen. Omarbetad från McCauley et al. (2020)13

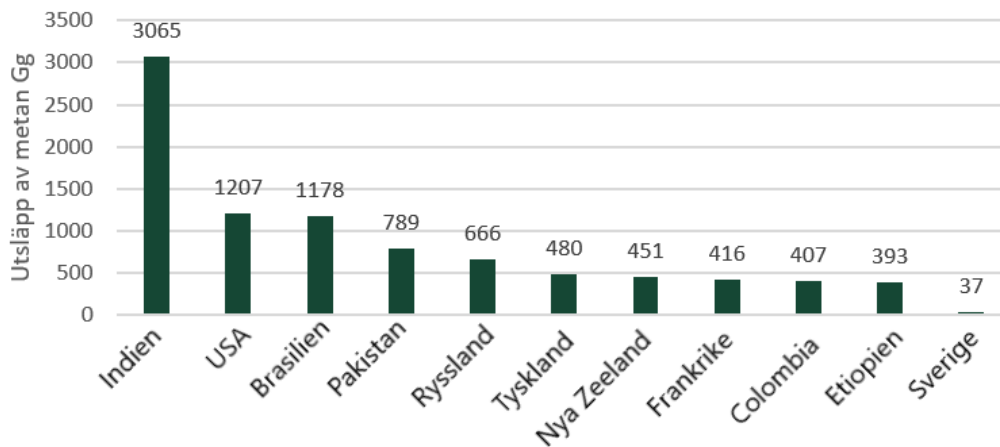
1. Introduktion

Utsläpp av metan (CH_4) från enterisk fermentering i våmmen hos idisslare står för en betydande andel av metanutsläppen från jordbrukssektorn idag (Figur 1) (FAOSTAT 2018). Metan är en potent växthusgas med en uppvärmningspotential på 25 koldioxidekvivalenter vilket innebär att dess effekt på den globala uppvärmningen är 25 gånger högre än koldioxid (Forster et al. 2007). Metan har dock en relativt kort överlevnadstid i atmosfären och bryts ner på endast ca. 9 år (Prather et al. 2012). Det i kombination med dess höga uppvärmningspotential gör ett minskat utsläpp av metan till en viktig och effektiv åtgärd i en minskad klimatbelastning.

Av de ca 100 miljoner ton metan som släpptes ut från enterisk fermentering globalt år 2018 står mjölkkor för ca 18 miljoner ton (FAOSTAT 2018). I jämförelse med de länder med högst utsläpp ligger Sverige relativt lågt och står för ca. 1,2 % av de globala utsläppen av metan från enterisk fermentering från mjölkkor (Figur 2) (FAOSTAT 2018). För att nå det nationella miljömålet ”Begränsad klimatpåverkan” krävs dock snabba åtgärder för minskade utsläpp av växthusgaser. Sverige har tillsammans med EU tagit klimatåtagandet att minska utsläppen av växthusgaser med 40 % till år 2030 (Naturvårdsverket 2020). Även den svenska mjölknäringen har därför skyldighet att bidra till denna minskning.



Figur 1. Globala utsläpp av metan från enterisk fermentering hos idisslare samt från övriga delar av jordbrukssektorn i jämförelse med de totala utsläppen från jordbrukssektorn år 2018. Källa: FAOSTAT 2018.



Figur 2. Utsläpp av metan från enterisk fermentering hos mjölkkor år 2018. Jämförelse mellan de 10 länder med högst utsläpp globalt och Sveriges utsläpp (71 av 210 globalt). Källa: FAOSTAT 2018

En trend mot en mer medveten konsument som efterfrågar en klimativänlig mjölkprodukt är även tydlig. För att möta denna efterfrågan och på så sätt säkra den svenska mjölknäringens framtid är en omställning mot en mer klimativänlig mjölkproduktion nödvändig. I en sådan omställning kan ett minskat metanutsläpp från enterisk fermentering vara en av flera viktiga åtgärder.

Hos den genomsnittliga kon går 6 % av intagen bruttoenergi till att producera metan (Johnson & Johnson 1995). Detta är energi som hade kunnat generera tillväxt och mjölkproduktion men som i stället går helt förlorat för kon. Det kan därför även vara av lönsamhetsintresse för den enskilde lantbrukaren att minska de metanogena processerna och på så sätt öka avkastningen per ko.

Genom olika utfodringsstrategier kan metanproduktionen i våmmen minskas. Detta genom att stimulera alternativa vägar för fermentering och på så sätt undvika metan som slutprodukt. Det kan uppnås genom att exempelvis justera proportionerna och innehållet i foderstaten eller att addera fodertillsatser (Martin et al. 2010). Genom sådana åtgärder är det möjligt att minska produktionen av metan i våmmen med 3,5 % till 34,4 % (Moate et al. 2011; Stefenoni et al. 2021). Syftet med denna studie är därför att sammanställa och jämföra möjliga utfodringsstrategier för att minska metanproduktionen i våmmen och därmed svara på följande frågeställningar:

Vilka utfodringsstrategier minskar metanutsläppen från våmmen samt vilken effekt har de?

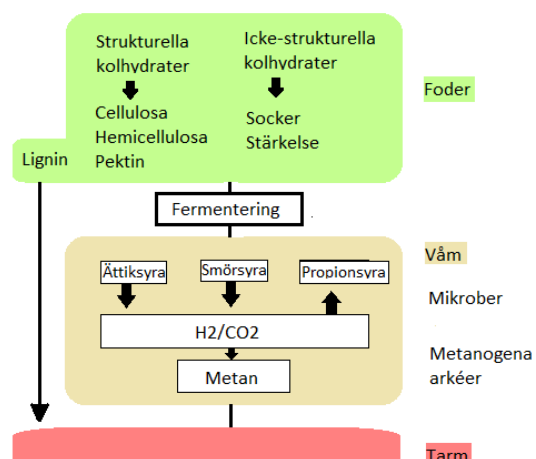
Hur påverkar utfodringsstrategierna mjölkproduktionen och kornas hälsa?

Är strategierna tillämpbara i svensk mjölkproduktion?

2. Metanproduktion i våmmen

Produktionen av metan i våmmen sker i flera steg med ett flertal olika anaeroba mikrober inblandade. Via fodret intas bland annat strukturella och icke-strukturella kolhydrater som fermenteras och bryts ner till monomerer. Dessa fermenteras sedan vidare till flyktiga fettsyror (VFA), koldioxid (CO₂) och väte i form av både fria protoner (H⁺) och vätgas (H₂) löst i våmvätskan (Morgavi et al. 2010). Metanogena arkéer reducerar koldioxid till metan med väte som energisubstrat. Detta innebär att koldioxid och väte är de huvudsakliga substraten för produktion av metan i våmmen (Hegarty & Gerdes 1999). VFA är uppbyggt av energirika kolväten och är den huvudsakliga energikällan för kon (Van Soest 2018). De VFA som främst bildas i fermenteringsprocesserna är ättiksyra, propionsyra och smörsyra (Martin et al. 2010). Vid produktion av smörsyra och ättiksyra frigörs väte vilket leder till en ökad stimulering av metanproduktionen. Vid produktion av propionsyra å andra sidan konsumeras väte vilket minskar mängden tillgänglig väte och därmed sjunker även metanproduktionen (Figur 3) (McCauley et al. 2020). Det kan därför vara fördelaktigt att stimulera fermentering som gynnar produktionen av propionsyra.

För att upprätthålla fermenteringen i våmmen måste koncentrationen av väte hållas på en jämn nivå (Hegarty & Gerdes 1999). Metanproduktionen är därmed en strategi för att binda väte och transportera det ur djuret (Johnson & Johnson 1995). Alternativa vätesänkor är därför en av de huvudsakliga metoderna för att minska metanproduktionen i våmmen. Sådana vätesänkor kan vara fermentering som gynnar produktion av propionsyra, biohydrogenering av fettsyror eller förändrad mikrobiell aktivitet i våmmen (Johnson & Johnson 1995).



Figur 3. Schematisk bild av metanproduktionen i våmmen. Omarbetad från McCauley et al. (2020)

3. Utfodringsstrategier

3.1. Grovfoderkvalitet

Förbättrad grovfoderkvalitet genom gödsling av bete och vall samt tidpunkt för skörd av vall inverkar på metanutsläppen (Bannink et al. 2010). Anledningen till de minskade utsläppen är att metanproduktionen i våmmen har ett linjärt samband med halten nedbrytbara fibrer i fodret, alltså strukturella kolhydrater i form av framförallt cellulosa (Moe & Tyrrell 1979; Pinares-Patiño et al. 2003). Som tidigare nämnt ökar den metanogena fermenteringen vid nedbrytning av strukturella kolhydrater. Vid ett tidigt växtstadium på vallen är andelen cellulosa som lägst samtidigt som smältbarhet och råproteinhalt är hög (Pinares-Patiño et al. 2003). Det innebär att ett tidigt skördat grovfoder kan sänka metanproduktionen genom att minska andelen fermenterbara kolhydrater.

Liknande effekt på metanproduktionen går att uppnå genom gödsling av vall. Den ökade tillförseln av kväve till plantan leder till lägre halter av strukturella kolhydrater, högre smältbarhet och bättre näringsvärden och därmed även lägre utsläpp av metan (Van Soest 2018). I simulerade försök har man sett en positiv korrelation mellan ökad gödsling av vallen och minskade metanutsläpp. Bäst effekt uppnås även i kombination med tidig skörd (Bannink et al. 2010). Bannink et al. (2010) såg att metanutsläppen kunde sänkas med 7 % med enbart tidig skörd på vallen och upp till 14 % (g/dag) i kombination med gödsling.

3.2. Baljväxtvall

Att ha blandvall eller att helt ersätta gräs med baljväxter kan leda till minskade metanutsläpp av flera anledningar. En bidragande faktor är att baljväxter har lägre andel strukturella kolhydrater och högre proteininnehåll (Van Soest 2018). De strukturella kolhydraterna hos baljväxter är även till stor del lignin som inte bidrar till metanogenesisen (Figur 3) (Van Soest 2018). En annan faktor som kan bidra till ett minskat metanutsläpp är att baljväxter, i jämförelse med gräsarter, innehåller högre halter bioaktiva substanser med egenskaperna att de kan inhibera

metanproduktion, exempelvis tanniner och saponiner (Van Soest 2018). Benchaar et al. (2001) kom i sin simuleringsmodell även fram till att byta ut hö av timotej mot lucern hade möjligheten att minska metanutsläppen med 21 % när de uttrycktes i relation till innehållet av smältbar energi. Dock visade en *in vivo* studie inte någon signifikant minskning i metanproduktion (g/dag) då gräsensilage byttes ut mot rödklöversilage (Gidlund et al. 2017).

3.3. Kraftfoder

Kraftfoder i form av spannmål innehåller hög andel icke-strukturella kolhydrater, exempelvis socker och stärkelse (Johnson & Johnson 1995). Vid fermentering av dessa sjunker pH i våmmen som resultat av ökad frisättning av vätejoner (Hegarty & Gerdes 1999). När pH sjunker skiftar fermenteringsvägarna så att produktionen av smörsyra minskar och propionsyra ökar (Russell 1998). Benchaar et al. (2001) såg även i simuleringsmodellen en linjär ökning i andelen propionsyra i våmmen vid en ökad inblandning av kraftfoder i foderstaten, vilket kan resultera i sänkt metanproduktion. Aguerre et al. (2011) såg i sitt försök *in vivo* en ökning i metanproduktion (g/dag) med 20 % samt en tendens till minskad mjölkavkastning då kraftfodergivan minskades från 53 % till 32 % av foderstaten. Det har även observerats en skillnad i metanproduktion beroende på kraftfodermedel där fodermedel med högre stärkelseinnehåll, exempelvis spannmål, leder till störst minskning i metanproduktion (Benchaar et al. 2001).

3.4. Makroalger

Alger har använts som fodermedel sedan lång tid tillbaka och ett flertal olika arter har visat på negativ effekt på metanproduktionen i våmmen (Machado et al. 2014, 2016). Några arter av alger som har visat på stor metanhämmande potential är rödalger *Asparagopsis taxiformis* och *Asparagopsis armata* (Machado et al. 2014, 2016; Roque et al. 2019). Dessa alger producerar sekundära metaboliter med uppgift att skydda algen mot angrepp av sjukdomar och predatorer (Paul et al. 2006). Dessa substanser har en antimikrobiell effekt och inhiberar därmed även metanogenerna i våmmen (Machado et al. 2016). Den huvudsakliga substansen i *Asparagopsis* som verkar inhiberande på metanproduktionen är bromoform (Stefenoni et al. 2021). I försök *in vivo* såg Stefenoni et al. (2021) en sänkning i metanproduktionen (g/dag) med 34,4 % vid 0,5 % inblandning av *A. taxiformis* i foderstaten till mjölkkor. Det som dock även har observerats är att inkludering av rödalger i foderstaten kan ha en negativ effekt på fodrets smältbarhet och VFA-produktionen i våmmen med följderna försämrade fodereffektivitet och

mjölkavkastning (Machado et al. 2016; Stefenoni et al. 2021). Stefenoni et al. (2021) såg även en avtagande metanhämmande effekt över tid vid tillsats av *A. taxiformis*, troligen till följd av instabilitet av bromoform i fodret.

I försök in vivo med tillsats av *A. armata* har liknande resultat observerats. Roque et al. (2019) såg en minskning av metanutsläppen (g/dag) med 26,4 % vid en tillsats av 0,5 % av *A. armata* och 67,2 % vid 1 % tillsats. Vid den högre dosen observerades en signifikant minskning av mjölkavkastning, dock inte vid den lägre dosen.

3.5. Fett

Fett är möjligt att tillsätta till fodret genom fettrika fodermedel, exempelvis oljefröer eller restprodukter från oljeindustrin, alternativt rena oljor (Patra 2013). Studier har visat att med ökad tillsats av fett till fodret minskar utsläppen av metan (Beauchemin et al. 2009; Moate et al. 2011; Patra 2013). Beauchemin et al. (2009) testade i sin studie att tillsätta fett till mjölk Kors foderstat via oljefröerna linfrö, solrosfrö och rapsfrö. Alla tillsatser ledde till en sänkning i metanproduktion med 18, 10 respektive 16 % (g/kg ts). Dock vid utfodring med linfrö och solrosfrö sjönk även smältbarheten. Liknande resultat fick Moate et al. (2011) som jämförde fettillsats till mjölkkofoderstat i form av drav, majsmjöl och majsmjöl i kombination med rapsmjöl samt dess påverkan på metanproduktionen. Resultatet visade att ökad fetthalt i foderstaten leder till en genomsnittlig minskning av metanproduktionen (g/kg ts) med 3,5 % för varje procent fett i foderstaten, oavsett fettkällan (Moate et al. 2011). Martin et al. (2010) tog fram ett liknande medelvärde på 3,8 % i sin metaanalys. Anledningen till de minskade utsläppen som följd av en ökad fetthalt i foderstaten kan bero på olika faktorer. Det kan öka fodereffektiviteten, genom biohydrogenering binda H⁺ samt påverka mikrofloran och gynna fermentering med propionsyra som slutprodukt (Johnson & Johnson 1995). Viss skillnad kan ses mellan fettsyornas uppbyggnad där omättade fettsyror har störst effekt på minskad metanproduktion (Patra 2013). Dessa kan tillföras till fodret som rena oljor alternativt genom fodermedel som är rika på just dessa fettsyror. Ett sådant fodermedel är camelina, ett oljefrö och en gammal kulturgröda som har fått ny uppmärksamhet för sitt innehåll av fleromättade fettsyror (Hurtaud & Peyraud 2007). Utfodring med camelina har även visat potential att minska metanproduktionen hos mjölk Kor, dock kan det potentiellt även påverka mjölkavkastningen negativt (Bayat et al. 2015).

3.6. Probiotika och jäst

Olika arter av mikrober producerar olika VFA som slutprodukt. För att minska metanproduktionen i våmmen genom ökad andel propionsyra är det därför möjligt att utfodra med propionsyrabakterier (PAB). Fördelen med PAB är att det kan ha positiv inverkan på djurets hälsa samtidigt som det även har möjlighet att öka fodereffektiviteten genom att minska energiförlusterna via metan (Weiss et al. 2008). Resultaten på metanutsläpp i de studier som har genomförts har dock varit inkonsekventa med stor variation beroende på bland annat testindivider, dos, övrig foderstat och bakteriestam som har använts (Philippeau et al. 2017; Jeyanathan et al. 2019). Philippeau et al. (2017) såg att tillsats av *Propionibacterium* och *Lactobacillus rhaminosus* tenderade att sänka metanutsläppen med 26,5 % (g/kg mjölk) i kombination med en foderstat med låg stärkelsehalt. Dock såg Jeyanathan et al. (2019) en ökning i metanproduktion med 27 % (g/kg mjölk) vid tillsats av *Propionibacterium* till en foderstat med hög stärkelsehalt. Vild låg stärkelsehalt observerades ingen skillnad från kontroll.

Utfodring med jäst är väl etablerat för att främja kors hälsa och metabolism. Jäst har en positiv effekt på etablering av våmmikrober hos ungdjur, stabilisering av pH i våmmen samt förbättrad fibernedbrytning (Chaucheyras-Durand et al. 2008). Chaucheyras et al. (1995) visade i sitt försök *in vitro* på att tillsats av jäst till fodret kunde ha potential att sänka metanproduktionen i våmmen. Detta genom att öka aktiviteten hos bakterier som konsumerar fritt väte och på så sätt minskar tillgängligheten av väte till metanogenesen. Dock har studier med mjölkkor *in vivo* inte kunnat visa någon metanhämmande effekt vid tillsats av jäst till foderstaten (Bayat et al. 2015; Meller et al. 2019).

3.7. Nitrat

Nitrat kan agera hämmande på metanogenesen genom att binda fria vätejoner och på så sätt minska mängden substrat för metanogenesen (Patra et al. 2017). Meller et al. (2019) såg en sänkning i metanutsläpp med 7,5 % (g/kg ts) hos lakterande kor utfodrade med nitrat. Dock orsakade det även en sänkning i foderintag och därmed observerades även en tendens till lägre mjölkavkastning. Till följd av det ledde inte tillsats av nitrat i foderstaten till sänkta metanutsläpp per kg producerad mjölk (Meller et al. 2019). Nitrat är även i större mängder toxiskt för idisslare då det kan stimulera omvandling av hemoglobin till methemoglobin, en molekyl som inte är syrebärande, och på så sätt kan djuret drabbas av anemi (Yang et al. 2016). Meller et al. (2019) såg i sin studie förhöjda värden av methemoglobin, dock inte på en nivå som är skadligt för djuren.

3.8. Växtextrakt

Till växtextrakt hör bland annat tanniner, saponiner och essentiella oljor. Tanniner och saponiner är exempel på sekundära metaboliter som produceras av växter för att öka dess chans för överlevnad (Patra & Saxena 2009). Dessa substanser har visat effekt på metanogenesen och kan därför vara ett intressant naturligt alternativ till kemiska tillsatser (Patra & Saxena 2009).

Tanniner är komplexa polymerer som finns i ett flertal olika växter och benämns ofta som antinutritionella substanser då de kan bilda komplex med proteiner, och till viss del kolhydrater, och på så sätt göra dem otillgängliga för djuret (Van Soest 2018). I och med det är tanniner även toxiska i större mängder (Van Soest 2018). Försök *in vitro* visade på att tillsats av tanniner till fodret påverkar metanogenesen både direkt och indirekt. Detta genom att inhibera både metanogenerna i sig men även minska antalet mikrober i våmmen som bidrar med substrat till metanproduktionen, bland annat VFA, CO₂ och H₂ (Bhatta et al. 2009). Denninger et al. (2020) såg en sjunkande metanproduktion vid utfodring av tanniner till mjölkkor utan negativ påverkan på mjölkproduktion. Försöket pågick dock under endast 4 dagar och det är därför svårt att se långvarig effekt eller påverkan på hälsa.

Saponiner är en typ av glykosider som vid tillsatts i foderstaten kan minska antalet protozoer i våmmen samtidigt som det orsakar ett skifte i fermenteringsvägarna. Detta resulterar i en minskad mängd fritt väte samt en ökad andel propionsyra och därmed minskad metanproduktion (Wina et al. 2005). Trots att utfodring med saponiner visat en metanhämmande potential *in vitro* (Guyader et al. 2017) har effekten inte kunnat fastställas *in vivo*. Guyader et al. (2017) såg ingen skillnad i metanproduktion (g/dag) när saponiner utfodrades till mjölkkor samtidigt som mjölkproduktionen minskade.

Essentiella oljor (EO) utvinns från växtdelar genom destillering och har länge använts för dess olika egenskaper, exempelvis som naturligt antibakteriella medel (Patra & Saxena 2010). Studier har visat på att EO har en antimikrobiell effekt vilket kan leda till en förändrad tillgänglighet av substrat för metanproduktion i våmmen (Dorman & Deans 2000). Oljor som har visat på potential till att minska metanproduktionen i våmmen är bland annat essentiell olja från oregano, pepparmynta och koriander (Patra & Saxena 2010; Belanche et al. 2020). Belanche et al. (2020) utförde en metaanalys för att undersöka effekten av en kommersiell blandning av essentiella oljor, Agolin® Ruminant. Resultatet blev att tillsats av Agolin® Ruminant med 1g/ko och dag kan minska metanproduktionen (g/dag) med 8,8 %. Tillsatsen hade även en positiv effekt på mjölkavkastning och fodereffektivitet men behöver utfodras i minst 4 veckor för att visa effekt. Det finns även andra studier som visar på positiv effekt på produktions- och hälsoparametrar hos mjölkkor (Braun et al. 2019). Braun et al. (2019) såg att utfodring med en EO-blandning ökar mjölkavkastningen och fodereffektiviteten, med en förbättrad effekt observerad över tid.

4. Diskussion

De strategier som har granskats i denna studie har alla en potentiell eller bevisad metanhämmande effekt. Det som skiljer dem åt är hur andra aspekter av mjölkproduktionen påverkas. Då den metan som produceras i våmmen har en koppling till kons energiförsörjning är det lätt att även den drabbas av en minskad metanproduktion. En förbättrad grovfoderkvalitet, baljväxtvall, ökad andel kraftfoder och essentiella oljor har alla positiv effekt på mjölkproduktionen (Johnson & Johnson 1995; Pinares-Patiño et al. 2003; Van Soest 2018; Belanche et al. 2020). Nitrat, saponiner och tillsats av vissa fetter har däremot visat på möjlig negativ påverkan på mjölkavkastningen (Bayat et al. 2015; Guyader et al. 2017; Meller et al. 2019). Även utfodring med rödalger har visat på eventuell negativ påverkan på mjölkavkastning och mjölkkvalitet vid högre doser (Machado et al. 2016; Stefenoni et al. 2021). En sänkt mjölkavkastning och försämrad mjölkkvalitet har direkt koppling till lantbrukarens inkomst och det som kan vara en avgörande faktor till om en strategi kommer att användas eller inte är just de ekonomiska aspekterna. Ett minskat metanutsläpp är, även om det i längden är till nytta för alla, inget som bidrar till en ökad inkomst för lantbrukaren direkt. Innebär utfodringsstrategin då en stor extra kostnad kommer motivationen för att använda tillsatsen inte vara tillräckligt stor. Något som kan öka intresset för att använda en tillsats är om det har någon ytterligare gynnsam effekt som kan öka lantbrukarens inkomst.

En ökad kraftfodergiva kan på ett effektivt sätt minska metanproduktionen genom att drastiskt minska mängden strukturella kolhydrater i våmmen samtidigt som det kan öka mjölkproduktionen och därmed förbättra lönsamheten (Johnson & Johnson 1995). Våmmen är dock anpassad för att bryta ner strukturella kolhydrater och när andelen gräs i foderstaten minskar för att ge plats åt mer energirika fodermedel kan det därför uppstå problem. En viktig del i att behålla en god miljö i våmmen är att hålla pH på en stabil nivå. Vid utfodring av stärkelserika fodermedel, framför allt spannmål, främjas fermentering till mjölksyra samt att det frisätts ökad mängd vätejoner och våmpH sjunker (Hegarty & Gerdes 1999). Då det sker kan kon drabbas av våmacidos, ett tillstånd då kon blir uttorkad, får försämrat allmäntillstånd, sänkt mjölkproduktion och i värsta fall dör till följd av försämrad syresättning (Van Soest 2018).

Ett annat vanligt förekommande tillstånd är trumsjuka. Genom ytspänning i våmmen hindras gas från att släppas ut under idissling, våmmen sväller upp och

trycket ökar på omkringliggande organ (Van Soest 2018). Risken för trumsjuka ökar när fodrets passagehastighet genom våmmen ökar. Detta sker när fodermedlen har låg andel strukturella kolhydrater och därmed inte kräver lika långvarig idissling (Van Soest 2018). Risken för båda dessa tillstånd ökar då foderintaget ökar, vilket gör lakterande kor extra känsliga då de har så pass högt energibehov (Russell 1998).

Det finns studier som tyder på att andra åtgärder kan vara lika effektiva som ökad andel kraftfoder utan lika stor risk på kons hälsa. Cabezas-Garcia et al. (2017) såg bland annat att samma minskning av metanproduktionen som en ökad kraftfodergiva ger kan uppnås genom att byta ut senare skördad vall med energiinnehåll på 9,7 MJ ME/kg ts mot tidigt skördad vall med 11 MJ ME/kg ts. Även baljväxter kan i teorin vara ett bra alternativ då det innehåller hög andel protein och har god smältbarhet (Van Soest 2018). Dock finns studier som inte visar på någon signifikant minskning i metanproduktion (Gidlund et al. 2017). Halten tanniner är även högre i baljväxter än i gräs och de är i större mängder toxiska. Det innebär att utfodring med baljväxter som enda grovfoderkälla kan vara problematiskt.

Ökad odling av spannmål till foder kan innebära ökad användning av resurser, exempelvis bränsle, samt konkurrens om mark för odling av grödor till humankonsumtion. Att öka kraftfodergivan skulle även kunna leda till högre foderkostnader för lantbrukaren då spannmål har högre inköpspris än grovfoder. Vallodling är en viktig del i en hållbar växtföljd då det ökar biodiversitet på och utanför vallen samt förmedlar en gynnsam miljö för naturliga fiender till skadedjur. Fleråriga grödor, som vallen är, har även potential att öka inlagringen av kol till marken och därmed minska halten växthusgaser i atmosfären (McSherry & Ritchie 2013). Detta innebär ett minskat klimatavtryck på mjölk från kor med en större grovfoderandel i foderstaten. Inblandning av baljväxter i vallarna innebär även en kvävefixering i marken vilket minskar behovet av gödsling på efterföljande grödor och vallen själv (Carlsson & Huss-Danell 2003). Ökad kvävetillförsel leder till förbättrade näringsvärden på fodret och därmed även potentiellt minskad metanproduktion i våmmen (Van Soest 2018). Att köpa in mineralgödsel för att gödsla vallen kan däremot ha en negativ effekt på hela produktionens ekonomi och energiförsörjning. Den befintliga stallgödseln kan vara bra att använda förutsatt att den inte används till andra mer näringskrävande grödor. Att ändra rutiner kring skötsel och skörd av den vall som redan finns tillgänglig för att uppnå ett högt näringsvärde och låg andel strukturella kolhydrater kan vara en strategi som är relativt lätt att tillämpa i praktiken. Det kan även ge mervärden, i form av högre mjölkavkastning och förbättrad hälsostatus, utöver en sänkt metanproduktion.

Användning av restprodukter från oljeindustrin i form av exempelvis oljefrökaka är ett resurseffektivt alternativ till spannmålsbaserade kraftfoder då det annars hade kasserats. Oljefrökaka är ett högkvalitativt proteinfodermedel med höga

näringsvärden och även potential att sänka metanutsläppen (Patra 2013). I Sverige används rapskaka redan mycket som fodermedel och raps är ett av de oljefröer som har visat på metanhämmande potential (Beauchemin et al. 2009). Även oljefröet camelina är intressant som alternativ då det är en gammal kulturgröda och har bättre motståndskraft mot extremväder som exempelvis torka (Hurtaud & Peyraud 2007). I och med de klimatförändringar som sker är det troligt att extremväder kommer bli mer förekommande. Att ha högkvalitativa och tåliga fodermedel är därför en viktig del i beredskapen inför ovissa förhållanden i framtiden.

Något som är viktigt att tänka på vid användning av ett flertal av dessa strategier är att de är näringstätta fodermedel med bland annat högt proteininnehåll. Det kan därför finnas en risk för utfodring av protein som överstiger kons behov. Överutfodring av protein, exempelvis vid baljväxtvall, gödslad vall och ökad kraftfodergiva, leder till att överskottet släpps ut i form av kväve via träck och urin (Abbasi et al. 2018). Det är därför hög risk att kväve utlakas på bete eller vid lagring av gödsel vilket leder till övergödning och försurning av omkringliggande vattendrag. En noga uträknad foderstat är därför mycket viktig vid utfodring av dessa fodermedel för att undvika överutfodring av protein.

Rödalgler som fodertillskott har visat på stor potential för att sänka metanproduktionen, framförallt *Asparagopsis taxiformis* (Machado et al. 2014, 2016). Utfodring med rödalger kan dock vid högre inblandning påverka fodereffektiviteten negativt samt eventuellt ha negativ påverkan på kornas hälsa. Efter ett försök med *A. taxiformis* har det funnits tecken på inflammation i våmslemhinnan på försöksdjuren (Muizelaar et al. 2021). Detta tyder på att vidare forskning är nödvändig för att utesluta eventuella välfärdsproblem. Det finns även praktiska faktorer som begränsar användningen av rödalger som fodertillsats. Dels är rödalger tropiska organismer som därför ställer specifika krav på vattenförhållanden. Odling av rödalger i Sverige måste därför ske i slutna system där man kan kontrollera miljön. Detta kan begränsa skalan på produktionen och därmed produktens tillgänglighet och pris. Odlingen kan även leda till högre utsläpp av växthusgaser beroende på produktionssystem. En annan begränsande faktor är att den aktiva substansen i *A. taxiformis*, bromoform, är flyktig och har visat sig instabil med en sjunkande halt aktiv substans under lagring (Stefenoni et al. 2021). Vid frystorkning, som idag är den vanliga metoden för processning av *A. taxiformis*, har man sett förluster på upp till 37,8 % av halten bromoform (Magnusson et al. 2020). Processtekniker som exempelvis att låta algen dra i vegetabilisk olja och sedan utfodra med oljan har visat sig lovande (Magnusson et al. 2020) men vidare forskning krävs för att säkerställa en produkt med stabilt innehåll av bromoform.

Essentiella oljor har som fodertillsats visat på stort potential att sänka metanproduktionen utan negativ påverkan på mjölkavkastning eller mjölk kvaliteten (Belanche et al. 2020). Utfodring med EO har också visat på positiv effekt på hälsan, framförallt på ökad kalciumhalt i blodet (Braun et al. 2019). Det tyder på

att det potentiellt kan användas även för att minska riskerna för höglakterande kor att drabbas av hypokalcemi (Braun et al. 2019). Fodertillsatser som tillsätts till fodret i små doser skulle dessutom kunna vara en enkel strategi för att sänka metanproduktionen utan större krav på lantbrukaren. De skulle exempelvis kunna vara en ingrediens i färdiga kraftfoderblandningar alternativt tillsättas på gården utan större arbetsinsats. Det är därför mycket möjligt att exempelvis EO skulle kunna användas kommersiellt i större utsträckning.

Utfodring med nitrat har visat sig problematiskt då det ökar risken för djuren att drabbas av anemi, ett potentiellt livshotande tillstånd (Yang et al. 2016). Detta begränsar möjligheterna att använda nitrat som fodertillskott och det krävs vidare forskning för säker användning utan att kompromissa på kornas hälsa. Det finns dock även tillsatser där studier visar på positiv effekt på hälsoparametrar. Jäst har länge använts för dess positiva effekt på mikrofloran i våmmen och utfodras bland annat till växande djur för att stimulera en hälsosam utveckling av våmmen (Chaucheyras-Durand et al. 2008). Skulle dessa goda effekter på hälsoparametrar kunna kombineras med sänkta metanutsläpp hade det varit lättare att motivera kommersiell användning av tillsatsen då det även ger ett mervärde utöver effekten på metanutsläppen.

Vissa av tillsatserna som har tagits upp i denna studie har visat på stor potential till att minska metanutsläppen men har inte tillräckligt tydliga resultat från forskning *in vivo* som styrker dessa effekter. Det gäller framför allt utfodring med probiotika, jäst, tanniner och saponiner. För att dessa ska kunna användas kommersiellt krävs mer forskning för att identifiera exempelvis doser, mikrobstammar och andra bidragande faktorer för att uppnå maximal effekt och samtidigt utesluta eventuella negativa biverkningar på produktion och hälsa.

4.1. Slutsats

Att använda utfodringsstrategier för att minska metanproduktionen är komplext då det vi utfodrar korna med påverkar hela kon inkluderat dess hälsa och produktion. För att en strategi ska användas i praktiken kan inte en sänkt metanproduktion ske på bekostnad av produktionsparametrar, hälsa eller ekonomiska aspekter. Sådant som lantbrukaren kan göra utan större insatser är att se över rutiner kring skötsel och skörd av vall för att få ett grovfoder med lägre andel strukturella kolhydrater. Att välja ett kraftfoder med större andel fett i form av hela frön eller restprodukter från oljegrödor som exempelvis raps kan också vara en strategi som är genomförbar i praktiken. Rödalgen *Asparagopsis taxiformis* har stort potential som en framtida utfodringsstrategi men ytterligare forskning bör göras för att utesluta negativ påverkan på hälsa och produktion. Även andra fodertillsatser har potential att kunna användas för att sänka metanproduktionen och essentiella oljor kan samtidigt vara positivt för hälsostatus och mjölkproduktion.

Referenser

- Abbasi, I.H.R., Abbasi, F., Abd El-Hack, M.E., Abdel-Latif, M.A., Soomro, R.N., Hayat, K., Mohamed, M.A.E., Bodinga, B.M., Yao, J. & Cao, Y. (2018). Critical analysis of excessive utilization of crude protein in ruminants ration: impact on environmental ecosystem and opportunities of supplementation of limiting amino acids—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (1), 181–190. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0555-4>
- Aguerre, M.J., Wattiaux, M.A., Powell, J.M., Broderick, G.A. & Arndt, C. (2011). Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *Journal of Dairy Science*, 94 (6), 3081–3093. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4011>
- Bannink, A., Smits, M.C.J., Kebreab, E., Mills, J. a. N., Ellis, J.L., Klop, A., France, J. & Dijkstra, J. (2010). Simulating the effects of grassland management and grass ensiling on methane emission from lactating cows. *Journal of Agricultural Science*, 148, 55–72. <https://doi.org/10.1017/S0021859609990499>
- Bayat, A.R., Kairenius, P., Stefański, T., Leskinen, H., Comtet-Marre, S., Forano, E., Chaucheyras-Durand, F. & Shingfield, K.J. (2015). Effect of camelina oil or live yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal methane production, rumen fermentation, and milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage diets. *Journal of Dairy Science*, 98 (5), 3166–3181. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7976>
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Benchaar, C. & Holtshausen, L. (2009). Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 92 (5), 2118–2127. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1903>
- Belanche, A., Newbold, C.J., Morgavi, D.P., Bach, A., Zweifel, B. & Yáñez-Ruiz, D.R. (2020). A Meta-analysis Describing the Effects of the Essential oils Blend Agolin Ruminant on Performance, Rumen Fermentation and Methane Emissions in Dairy Cows. *Animals*, 10 (4), 620. <https://doi.org/10.3390/ani10040620>
- Benchaar, C., Pomar, C. & Chiquette, J. (2001). Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81 (4), 563–574. <https://doi.org/10.4141/A00-119>
- Bhatta, R., Uyeno, Y., Tajima, K., Takenaka, A., Yabumoto, Y., Nonaka, I., Enishi, O. & Kurihara, M. (2009). Difference in the nature of tannins on in vitro ruminal methane and volatile fatty acid production and on methanogenic archaea and protozoal populations. *Journal of Dairy Science*, 92 (11), 5512–5522. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1441>
- Braun, H.-S., Schrapers, K.T., Mahlkow-Nerge, K., Stumpff, F. & Rosendahl, J. (2019). Dietary supplementation of essential oils in dairy cows: evidence

- for stimulatory effects on nutrient absorption. *animal*, 13 (3), 518–523. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001696>
- Cabezas-Garcia, E.H., Krizsan, S.J., Shingfield, K.J. & Huhtanen, P. (2017). Effects of replacement of late-harvested grass silage and barley with early-harvested silage on milk production and methane emissions. *Journal of Dairy Science*, 100 (7), 5228–5240. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12444>
- Carlsson, G. & Huss-Danell, K. (2003). Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil*, 253 (2), 353–372. <https://doi.org/10.1023/A:1024847017371>
- Chaucheyras, F., Fonty, G., Bertin, G. & Gouet, P. (1995). In vitro H₂ utilization by a ruminal acetogenic bacterium cultivated alone or in association with an archaea methanogen is stimulated by a probiotic strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (9), 3466–3467. <https://aem.asm.org/content/61/9/3466> [2021-04-22]
- Chaucheyras-Durand, F., Walker, N.D. & Bach, A. (2008). Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Animal Feed Science and Technology*, 145 (1), 5–26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.019>
- Denninger, T.M., Schwarm, A., Birkinshaw, A., Terranova, M., Dohme-Meier, F., Münger, A., Eggenschwiler, L., Bapst, B., Wegmann, S., Clauss, M. & Kreuzer, M. (2020). Immediate effect of *Acacia mearnsii* tannins on methane emissions and milk fatty acid profiles of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 261, 114388. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114388>
- Dorman, H.J.D. & Deans, S.G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88 (2), 308–316. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>
- FAOSTAT (2018). *Enteric Fermentation*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GE> [2021-03-30]
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Raga, G., Schulz, M., Dorland, R.V., Bodeker, G., Etheridge, D., Foukal, P., Fraser, P., Geller, M., Joos, F., Keeling, C.D., Keeling, R., Kinne, S., Lassey, K., Oram, D., O’Shaughnessy, K., Ramankutty, N., Reid, G., Rind, D., Rosenlof, K., Sausen, R., Schwarzkopf, D., Solanki, S.K., Stenchikov, G., Stuber, N., Takemura, T., Textor, C., Wang, R., Weiss, R., Whorf, T., Nakajima, T., Ramanathan, V., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. & Dorland, R.V. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 106
- Gidlund, H., Hetta, M. & Huhtanen, P. (2017). Milk production and methane emissions from dairy cows fed a low or high proportion of red clover silage and an incremental level of rapeseed expeller. *Livestock Science*, 197, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.01.009>
- Guyader, J., Eugène, M., Doreau, M., Morgavi, D.P., Gérard, C. & Martin, C. (2017). Tea saponin reduced methanogenesis in vitro but increased methane yield in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (3), 1845–1855. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11644>
- Hegarty, R.S. & Gerdes, R. (1999). *Hydrogen production and transfer in the rumen*. Recent Advances in Animal Nutrition in Australia.
- Hurtaud, C. & Peyraud, J.L. (2007). Effects of Feeding Camelina (Seeds or Meal) on Milk Fatty Acid Composition and Butter Spreadability. *Journal of Dairy Science*, 90 (11), 5134–5145. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0031>
- Jeyanathan, J., Martin, C., Eugène, M., Ferlay, A., Popova, M. & Morgavi, D.P. (2019). Bacterial direct-fed microbials fail to reduce methane emissions in

- primiparous lactating dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10 (1), 41. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0342-9>
- Johnson, K.A. & Johnson, D.E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73 (8), 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N.A., Kinley, R., de Nys, R. & Tomkins, N. (2016). Dose-response effects of *Asparagopsis taxiformis* and *Oedogonium* sp. on in vitro fermentation and methane production. *Journal of Applied Phycology*, 28 (2), 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0639-9>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N.A., Nys, R. de & Tomkins, N. (2014). Effects of Marine and Freshwater Macroalgae on In Vitro Total Gas and Methane Production. *PLOS ONE*, 9 (1), e85289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085289>
- Magnusson, M., Vucko, M.J., Neoh, T.L. & de Nys, R. (2020). Using oil immersion to deliver a naturally-derived, stable bromoform product from the red seaweed *Asparagopsis taxiformis*. *Algal Research*, 51, 102065. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102065>
- Martin, C., Morgavi, D.P. & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4 (3), 351–365
- McCauley, J.I., Labeeuw, L., Jaramillo-Madrid, A.C., Nguyen, L.N., Nghiem, L.D., Chaves, A.V. & Ralph, P.J. (2020). Management of Enteric Methanogenesis in Ruminants by Algal-Derived Feed Additives. *Current Pollution Reports*, 6 (3), 188–205. <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00151-7>
- McSherry, M.E. & Ritchie, M.E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*, 19 (5), 1347–1357. <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>
- McSherry, M.E. & Ritchie, M.E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*, 19 (5), 1347–1357. <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>
- Meller, R.A., Wenner, B.A., Ashworth, J., Gehman, A.M., Lakritz, J. & Firkins, J.L. (2019). Potential roles of nitrate and live yeast culture in suppressing methane emission and influencing ruminal fermentation, digestibility, and milk production in lactating Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (7), 6144–6156. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16008>
- Moate, P.J., Williams, S.R.O., Grainger, C., Hannah, M.C., Ponnampalam, E.N. & Eckard, R.J. (2011). Influence of cold-pressed canola, brewers grains and hominy meal as dietary supplements suitable for reducing enteric methane emissions from lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.069>
- Moe, P.W. & Tyrrell, H.F. (1979). Methane Production in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 62 (10), 1583–1586. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83465-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83465-7)
- Morgavi, D.P., Forano, E., Martin, C. & Newbold, C.J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *animal*, 4 (7), 1024–1036
- Muizelaar, W., Groot, M., van Duinkerken, G., Peters, R. & Dijkstra, J. (2021). Safety and Transfer Study: Transfer of Bromoform Present in *Asparagopsis taxiformis* to Milk and Urine of Lactating Dairy Cows. *Foods*, 10 (3), 584. <https://doi.org/10.3390/foods10030584>
- Naturvårdsverket (2020). *Miljömålen - Årlig uppföljning av Sveriges nationella miljömål 2020*. (6919). Stockholm: Naturvårdsverket. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publ-filer/6900/978-91-620-6919-3.pdf?pid=26466> [2021-04-06]
- Ohene-Adjei, S., Chaves, A.V., McAllister, T.A., Benchaar, C., Teather, R.M. & Forster, R.J. (2008). Evidence of Increased Diversity of Methanogenic Archaea with Plant Extract Supplementation. *Microbial Ecology*, 56 (2), 234–242. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9340-0>

- Patra, A., Park, T., Kim, M. & Yu, Z. (2017). Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8 (1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0145-9>
- Patra, A.K. (2013). The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle_ A meta-analysis. *Livestock Science*, 11
- Patra, A.K. & Saxena, J. (2009). The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews*, 22 (2), 204–219. <https://doi.org/10.1017/S0954422409990163>
- Patra, A.K. & Saxena, J. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71 (11), 1198–1222. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>
- Paul, N.A., Nys, R. de & Steinberg, P.D. (2006). Chemical defence against bacteria in the red alga *Asparagopsis armata*: linking structure with function. *Marine Ecology Progress Series*, 306, 87–101. <https://doi.org/10.3354/meps306087>
- Philippeau, C., Lettat, A., Martin, C., Silberberg, M., Morgavi, D.P., Ferlay, A., Berger, C. & Nozière, P. (2017). Effects of bacterial direct-fed microbials on ruminal characteristics, methane emission, and milk fatty acid composition in cows fed high- or low-starch diets. *Journal of Dairy Science*, 100 (4), 2637–2650. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11663>
- Pinares-Patiño, C.S., Baumont, R. & Martin, C. (2003). Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*, 83 (4), 769–777. <https://doi.org/10.4141/A03-034>
- Prather, M.J., Holmes, C.D. & Hsu, J. (2012). Reactive greenhouse gas scenarios: Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric chemistry. *Geophysical Research Letters*, 39 (9). <https://doi.org/10.1029/2012GL051440>
- Roque, B.M., Salwen, J.K., Kinley, R. & Kebreab, E. (2019). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>
- Russell, J.B. (1998). The Importance of pH in the Regulation of Ruminal Acetate to Propionate Ratio and Methane Production In Vitro. *Journal of Dairy Science*, 81 (12), 3222–3230. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75886-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75886-2)
- Stefenoni, H.A., Räisänen, S.E., Cueva, S.F., Wasson, D.E., Lage, C.F.A., Melgar, A., Fetter, M.E., Smith, P., Hennessy, M., Vecchiarelli, B., Bender, J., Pitta, D., Cantrell, C.L., Yarish, C. & Hristov, A.N. (2021). Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104 (4), 4157–4173. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19686>
- Van Soest, P.J. (2018). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Ithaca, UNITED STATES: Cornell University Press. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/detail.action?docID=5774221> [2021-04-21]
- Weiss, W.P., Wyatt, D.J. & McKelvey, T.R. (2008). Effect of Feeding Propionibacteria on Milk Production by Early Lactation Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91 (2), 646–652. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0693>

- Wina, E., Muetzel, S., Hoffmann, E., Makkar, H.P.S. & Becker, K. (2005). Saponins containing methanol extract of *Sapindus rarak* affect microbial fermentation, microbial activity and microbial community structure in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 121 (1), 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.016>
- Yang, C., Rooke, J.A., Cabeza, I. & Wallace, R.J. (2016). Nitrate and Inhibition of Ruminal Methanogenesis: Microbial Ecology, Obstacles, and Opportunities for Lowering Methane Emissions from Ruminant Livestock. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00132>

Tack

Ett stort tack till min handledare Petra Fant för många kloka ord och stort stöd genom arbetet. Tack till Olle som har kokat mig kaffe när energin har varit låg och till min hund Knut som har tvingat ut mig när jag har behövt det som mest.